

Geofísica Colombiana	Nº 4	pp.3-9	Marzo, 2000	Santa Fe de Bogotá D.C.	ISSN-0121-2974
----------------------	------	--------	-------------	-------------------------	----------------

MODELO HIDROGEOFISICO DE LA CUENCA SUR DE LA HABANA

ROSA M. VALCARCE ORTEGA
JACQUELINE GONZALEZ ESPINOSA

Departamento de Geofísica-Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"-ISPJAE - La Habana-Cuba

Valcarce, R.M. & J.Gonzalez (1998): Modelo Hidrogeofísico de la Cuenca Sur de La Habana. Geofís. Colomb. 4:3-9. ISSN 0121-2974. Santa Fe de Bogotá, D.C. - Colombia.

RESUMEN

Como resultado del procesamiento estadístico multivariado aplicado a los registros geofísicos de pozo y a los datos de transmisividad obtenidos de pruebas de bombeo, se presenta un modelo hidrogeofísico de la Cuenca Sur de La Habana que permite sintetizar la información hidrodinámica y geofísica existente. La aplicación combinada del análisis euclidiano de agrupación, del análisis de correlación y de las relaciones de Uvarov, permitió separar la componente estructurada de las variables estudiadas y definir la correlación entre parámetros geofísicos de pozo y la velocidad de filtración de las aguas subterráneas con coeficientes superiores a 0.8; se establece la relación existente entre los parámetros de Dar-Zarrouk (calculados a partir del registro eléctrico) y la transmisividad del acuífero (calculada por pruebas de bombeo), estimándose esta última a partir de la conductancia longitudinal con errores menores del 15%. Se demuestra que el procesamiento aplicado resulta efectivo incluso para el estudio de acuíferos cársticos donde la heterogeneidad y la anisotropía son la característica principal.

ABSTRACT

A hydrogeophysical model of the South Basin of La Habana is presented as the result of multivariate statistical processing applied to well logging and transmissivity data from pumping test. Through combining Euclidian Group Analysis, correlation analysis and Uvarov relationships it was possible to separate the structured components of the different variables and: to define the correlation between the geophysical parameters of the well and the filtration velocity of the groundwater, these coefficients are above 0.8; to establish the relation between Dar-Zarrouk parameters (from electrical well logging) and transmissivity (from pumping tests). The former one was estimated from longitudinal conductance, within less than 15% of error. It is shown that the applied processing is successful even in the study of karstic aquifers, where heterogeneity and anisotropy are characteristics.

1. INTRODUCCION

Los métodos geofísicos son ampliamente utilizados para la caracterización cualitativa de las propiedades hidrodinámicas de los acuíferos; sin embargo, sus aplicaciones en estudios cuantitativos son aún limitadas, sobre todo en acuíferos donde la heterogeneidad es la característica principal. Tal es el caso de los acuíferos cársticos caracterizados por una marcada heterogeneidad y anisotropía.

Reconociendo el alto grado de variación de los parámetros

hidrodinámicos y geofísicos, se hace necesario emplear métodos estadísticos para caracterizar cualitativa y cuantitativamente estas propiedades y más aún, para realizar evaluaciones cuantitativas de las propiedades hidrodinámicas del acuífero a partir de los métodos geofísicos.

En este trabajo se explica el procedimiento estadístico multivariado aplicado a los registros geofísicos de pozo y a los datos de transmisividad, obtenidos de pruebas de bombeo, y se presentan los resultados que permitieron, en el acuífero cárstico de la Cuenca Sur de La Habana,

esclarecer la relación entre parámetros geofísicos de pozo y la velocidad de filtración del flujo del agua subterránea, y esclarecer la relación existente entre la conductancia longitudinal (calculada a partir del registro eléctrico), y la transmisividad (obtenida por pruebas de bombeo).

2. ANALISIS DE TRABAJOS ANTERIORES

Dada la efectividad y eficiencia de los métodos geofísicos en las investigaciones hidrogeológicas, a nivel mundial se observa un incremento del volumen de trabajos geofísicos en este campo. La literatura especializada reporta resultados donde los métodos geofísicos han permitido pronosticar el comportamiento de las propiedades hidrodinámicas y en este sentido los de pozo han contribuido de manera importante (Jones & Bufford, 1951; Keys & MacCary, 1971; Brown, 1988).

Mazac, Kelly & Landa (1985), analizan las bases de las relaciones entre las propiedades eléctricas e hidráulicas, reconocen la existencia de relaciones directas e inversas entre estas propiedades dependiendo del tipo de acuífero, destacan que las correlaciones a escala de campo dependen de diferentes factores incluyendo el carácter de las correlaciones a nivel de núcleo las que pueden ser establecidas a escala de laboratorio. La relación a nivel de núcleo indicará el tipo de correlación de campo que puede ser esperada: positiva o negativa.

Mazac, Kelly & Landa (1985), también señalan que el modelo hidrogeofísico general debe tener en cuenta que:

- La conductividad hidráulica correlaciona con el tamaño de los granos y la porosidad efectiva o total para sedimentos libres de arcilla, y correlaciona con el contenido de arcilla y la porosidad efectiva en sedimentos arcillosos.

- Relaciones inversas entre los parámetros eléctricos e hidráulicos pueden ser esperados cuando la porosidad controla las variaciones de la conductividad hidráulica y otros factores como el tamaño de los granos y el contenido de arcilla son relativamente constantes.

- Relaciones directas entre los parámetros eléctricos e hidráulicos aparecen cuando existen correlaciones inversas entre el contenido de arcilla y la conductividad hidráulica.

La mayoría de los trabajos que se reportan han sido desarrollados en acuíferos donde existe un predominio de la porosidad intergranular; sin embargo, también se reportan trabajos donde ha sido posible estudiar el comportamiento de las propiedades hidrodinámicas a partir de los métodos geofísicos en colectores fracturados y cavernosos.

Gómez Rivero (1979) presenta una metodología para estimar la permeabilidad de las rocas usando solamente

registros geofísicos de pozo y una metodología para relacionar el factor de formación (obtenido de un registro eléctrico), la porosidad obtenida de un registro de porosidad y la permeabilidad absoluta (obtenida de datos de laboratorio); también, presenta ecuaciones empíricas obtenidas en carbonatos y arenas. El método desarrollado por este autor puede ser aplicado a rocas con porosidad intergranular y a rocas con porosidad mixta.

La metodología desarrollada por Gómez Rivero es aplicada con éxito para el estudio de la permeabilidad de colectores vulcanógeno-sedimentarios (tobas), donde existe un predominio de la porosidad de fractura (García, 1996).

Katsube & Humet (1987) reportan que la relación entre el factor de formación obtenido de un registro de corriente enfocada y el obtenido a partir de un registro de densidad, puede ser usada para estimar la conductividad hidráulica de rocas cristalinas fracturadas. Estos autores reportan una ecuación de regresión entre la transmisividad obtenida por pruebas hidrogeológicas "in situ" y el cociente de los dos factores de formación, para intrusiones graníticas de Canadá.

Se reportan también correlaciones empíricas entre la velocidad del flujo del agua subterránea y parámetros geofísicos de pozo en calas hidrogeológicas del acuífero cárstico Cuenca Sur de La Habana (Valcarce, 1995). En este trabajo se establece que el comportamiento de la porosidad y la arcillosidad condicionan el comportamiento de los parámetros hidrodinámicos del acuífero, también reportan correlaciones inversas entre el factor de formación (obtenido del registro eléctrico) y la velocidad del agua subterránea (obtenida del método de dilución de sal) y correlaciones inversas entre la arcillosidad (estimada del registro gamma natural) y la velocidad del flujo; pero para solo tres calas. En el presente trabajo, este análisis se amplía y profundiza para 9 pozos del acuífero, se incorporan otros parámetros geofísicos de pozo y los resultados de pruebas de bombeo.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESULTADOS OBTENIDOS

La cuenca Sur de La Habana es un acuífero costero formado casi en su totalidad por rocas del Neógeno, principalmente de la Formación Guines, que presenta en su composición una gran variedad de calizas: coralinas, recristalizadas organo-detriticas, organo-relicticas, dolomitizadas, arcillosas; todas con un elevado grado de carstificación.

Los parámetros hidrogeológicos de este acuífero han sido estudiados desde hace ya más de 50 años, cuando comenzaron a ejecutarse los primeros proyectos para acueducto, riego y uso industrial. Las propiedades de filtración de las rocas han sido calculadas mediante pruebas de caudal y/o aforos en pozos destacándose valores de transmisividad entre 10000 y 50000 m²/día y

aún mayores. Esta gran amplitud de los valores está determinada por el grado de carstificación de las calizas. De acuerdo con la regionalización hidrogeológica de las transmisividades y gastos específicos, es posible observar que existe una gran heterogeneidad del medio y que las propiedades de filtración de las rocas disminuyen con el aumento de la profundidad.

A continuación se presenta la metodología de trabajo y los principales resultados obtenidos, con el objetivo de esclarecer la relación entre los parámetros geofísicos de pozo y los parámetros hidrodinámicos.

1. A partir de la interpretación de los registros eléctricos (Rt) y gamma natural (I_g) en 9 pozos del área, (TS-106, TS-110, TS-5, TS-9, TS-121, TS-E1E2, Cala 2-Alquizar, I-II-21K, I-II-9k); fueron calculados: factor de formación (F), porosidad de Archie (ϕ_{Archie}), arcillosidad (Car), parámetro de arcillosidad relativa (η_{ar}), resistencia transversal (R_T) y conductancia longitudinal (S). De esta forma fueron caracterizados 201 intervalos.

2. A partir de la interpretación del método de dilución de sal, fue calculada la velocidad de filtración del agua subterránea (Vf), el coeficiente de filtración (Kf) y la transmisividad (T).

3. Para cada uno de estos atributos fue calculada la media (μ), desviación estándar (σ), valor máximo y mínimo, y se analizó también la ley de distribución de probabilidades. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Los coeficientes de correlación calculados entre las variables con transformación logarítmica fueron siempre superiores a los obtenidos con las variables sin transformar.

Aunque los coeficientes de correlación no son elevados, se observa correlación positiva entre S y T y correlación negativa entre la arcillosidad y T. Se destaca la efectividad de la conductancia longitudinal por encima de la resistividad eléctrica (Rt) y la resistencia transversal (R_T) para estimar la transmisividad del acuífero.

Evidentemente, cada uno de los parámetros estudiados son variables regionalizadas que adoptan un valor para cada punto x del espacio y en ellas pueden ser observados dos aspectos complementarios y aparentemente contradictorios (Samper & Carrera, 1990):

a) Un comportamiento aleatorio, asociado con las variaciones erráticas e impredecibles de estas variables regionalizadas,

b) Un comportamiento general estructurado, que en cierta forma refleja las características globales de la variación del fenómeno.

Por lo tanto, se hace necesario una formulación del problema que tenga en cuenta ambos aspectos, que haga

posible una representación simple de la variabilidad espacial, consistente desde el punto de vista teórico y operativo como desde el punto de vista práctico.

Por este motivo, dada la naturaleza del problema donde los atributos muestran una variabilidad espacial errática que difícilmente puede ser representada mediante funciones determinísticas, aplicamos técnicas de clasificación estadística sobre el conjunto de datos, con el fin de identificar grupos de intervalos de composición relativamente homogénea a partir de las regularidades del conjunto de variables usadas para su descripción.

En la literatura se describen numerosas técnicas de clasificación estadística multivariada (Alfonso, 1989). En este caso se aplica una técnica de clasificación no supervisada.

4. Fue aplicado el Análisis Euclidiano de Agrupación (AEA) sobre las variables Log Rt, Log R_T, Log S, Log I_g, Log F, Log ϕ_{Archie} , Log Car, Log η_{ar} , Log Vf; para los 201 intervalos definidos en los 9 pozos bajo estudio. Fueron analizados de 2 a 6 modelos de clasificación, los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 3 y 4.

Estos resultados demuestran que a pesar de la marcada heterogeneidad y anisotropía de las propiedades de este acuífero cárstico, existe una componente estructural bien definida que permite relacionar la variabilidad de los parámetros geofísicos de pozo y de los parámetros hidrodinámicos como la velocidad del flujo de agua subterránea y, por lo tanto, la permeabilidad, la conductividad hidráulica y la transmisividad, aumentan con la disminución del parámetro de arcillosidad relativa y con el incremento de la conductancia longitudinal. También, en cierta medida un incremento de la porosidad favorece la permeabilidad del acuífero.

5. Fue estimada la correlación entre los parámetros de Dar-Zarrouk (resistencia transversal y conductancia longitudinal) calculados a partir del registro eléctrico y la transmisividad calculada por pruebas de bombeo.

El problema fundamental para realizar este estudio fue la ausencia casi total de coincidencia espacial de las pruebas hidrogeológicas y de las mediciones geofísicas de pozo, por lo que era imposible abordar este análisis de forma convencional.

Sacasas (1987) referencia un método desarrollado por el investigador ruso A.A.Uvarov para definir la correlación entre dos atributos X e Y que no necesariamente tienen que estar pareados. Uvarov establece que teniendo una población de X y una población de Y que caracterizan a un área de estudio, es posible llegar a expresiones de relativa sencillez para evaluar Y a partir de X, haciendo uso del método estadístico de compatibilización de muestras. Establece que tales comportamientos de las dependencias correlacionables se obtienen siempre que, por un lado la variable X y por otro lado la variable Y, tengan distribución

TABLA 1 ESTADIGRAFOS Y LEY DE DISTRIBUCION DE LAS VARIABLES BAJO ESTUDIO (N=201)

VARIABLE	\bar{i}	\bar{o}	MINIMO	MAXIMO	LEY DE DISTRIBUCION
Rt	388.82	552.56	20	4800	normal
R _T	583.22	1112.04	24	10080	logaritmico-normal
S	1.42	3.37	0.0002	0.4	logaritmico-normal
F	20.75	24.02	1.5	208.7	logaritmico-normal
ϕ_{Archie}	0.18	0.14	0.016	0.73	logaritmico-normal
Ig	3.65	2.37	0.67	9.72	no normal; no log-normal
Car	0.33	0.26	0.00	0.99	no normal; no log-normal
η_{ar}	0.58	0.25	0.00	0.96	no normal; no log-normal
Vf	8.6	4.41	3.58	30	logaritmico-normal
Kf	2152.48	1103.78	895.0	7500	logaritmico-normal
T	3612.00	3983.3	380.0	30000	logaritmico-normal

TABLA 2 COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (r) ENTRE LAS VARIABLES OBTENIDAS DE LA INTERPRETACION DE LOS REGISTROS GEOFISICOS DE POZO (N=201 intervalos en 9 pozos)

	Log Rt	Log R _T	Log S	Log Ig	Log F	Log ϕ_{Archie}	Log Car	Log η_{ar}
Log Vf	-0.27	-0.07	0.38	-0.43	-0.14	0.14	-0.39	-0.42
Log Kf	-0.27	-0.07	0.38	-0.43	-0.14	0.14	-0.39	-0.42
Log T	-0.19	0.26	0.58	-0.45	-0.01	0.01	-0.43	-0.38

TABLA 3 MODELO DE CLASIFICACION CON 6 GRUPOS OBTENIDO DEL AEA

GRUPO	N	Rt	R _T	S	F	ϕ_{Archie}	Ig	Car	η_{ar}	Vf
1	27	730	1092	0.003	38	0.06	2.08	0.07	0.53	8.17
2	33	235	233	0.005	12	0.17	7.37	0.45	0.72	5.38
3	36	66	98	0.04	4.27	0.38	1.96	0.06	0.15	12.5
4	25	1321	1990	0.0012	58.3	0.05	4.6	0.25	0.81	7.26
5	42	123	190	0.016	8.25	0.22	4.85	0.27	0.55	7.8
6	37	268	500	0.008	20.9	0.11	1.10	0.009	0.07	9.86

TABLA 4
COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (R) ENTRE LOS CENTROIDES DEL MODELO DE CLASIFICACION CON 6 GRUPOS (N=6)

	Rt	R _T	S	F	ϕ_{Archie}	Ig	Car	η_{ar}
Vf	-0.35	-0.29	0.83	-0.33	0.61	-0.8	-0.82	-0.85

normal o log-normal. Además es necesario conocer, con anticipación, si la correlación entre ambos parámetros es positiva o negativa.

Para profundizar en el conocimiento del tipo de correlación que debe esperarse a nivel de campo entre los parámetros de Dar-Zarrouk y la Transmisividad de bombeo, se insiste en el estudio de la correlación entre los parámetros geoelectrónicos (calculados del registro eléctrico) y la transmisividad (calculada por el método de dilución de sal).

Para los 9 pozos bajo estudio fueron definidos 21 intervalos cuasi-homogéneos, caracterizados por los valores promedios de V_f , K_f , T (obtenidos del método de dilución de sal), R_T , resistividad transversal (ρ_T), S , resistividad longitudinal (ρ_L), resistividad medio cuadrática (ρ_m), coeficiente de anisotropía (λ); todos estos parámetros calculados a partir del registro eléctrico.

La Tabla 5, muestra el coeficiente de correlación lineal entre estos parámetros obtenidos de mediciones geofísicas en pozo.

Nuevamente se destaca la elevada correlación lineal directa entre la conductancia longitudinal y la transmisividad, y que la conductancia longitudinal es el parámetro geoelectrónico que presenta la mayor eficiencia para el estudio de los parámetros hidrodinámicos del acuífero en estas condiciones hidrogeológicas.

Se decide entonces aplicar las relaciones de Uvarov entre

S y T_{BOMBEO} para una profundidad promedio de 25 metros en el acuífero.

La Tabla 6, refleja los estadígrafos de la variable T_{BOMBEO} y su ley de distribución.

Se calcula la conductancia longitudinal hasta 25 metros de profundidad por debajo del nivel freático para 26 pozos del área. La Tabla 7 muestra los estadígrafos y la ley de distribución de este parámetro.

Para relacionar S y T_{BOMBEO} mediante las relaciones de Uvarov, se tuvo en cuenta que:

- La conductividad longitudinal presenta distribución Log-normal.

- Aunque la transmisividad presenta distribución normal para estos datos, la literatura reporta que este parámetro sigue una ley de distribución Log-normal (Samper & Carrera, 1990).

- La correlación entre estos parámetros es positiva según la información de los registros geofísicos de pozo.

Para evaluar la efectividad de esta metodología en el pronóstico de la transmisividad, se analizaron los resultados en las parejas de pozos (1502 y TS-106) y (688 y TS-110) por coincidir espacialmente. Para ello, se presenta la relación de Uvarov calculada sin considerar estos pozos y considerando los mismos.

TABLA 5
VALORES DEL COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL ENTRE LOS PARAMETROS GEOELECTRICOS E HIDRODINAMICOS OBTENIDOS DE REGISTROS GEOFISICOS EN POZO (N=21)

	R_t	ρ_T	S	ρ_L	ρ_m
Vf	-0.4	-0.45	0.64	-0.47	-0.47
Kf	-0.31	-0.34	0.39	-0.35	-0.36
T	-0.04	-0.31	0.81	-0.34	-0.33

TABLA 6
ESTADIGRAFOS Y LEY DE DISTRIBUCION DE LA TRANSMISIVIDAD OBTENIDA POR PRUEBAS DE BOMBEO (N=21)

Variable	μ	σ	Mínimo	Máximo	Ley de distribución (probabilidad = 95%)
T_{BOMBEO}	5697	4621	239	19662	normal

TABLA 7
ESTADIGRAFOS Y LEY DE DISTRIBUCION DE LA CONDUCTANCIA LONGITUDINAL OBTENIDA POR
REGISTROS ELECTRICOS (N=26)

Variable	μ	σ	Mínimo	Máximo	Ley de distribución (probabilidad = 95%)
S	0.639	0.46	0.099	1.69	logarítmico-normal

a) Sin los pozos (1502 y TS-106) y (688 y TS-110)
 $\text{Log}(T_{\text{BOMBEO}}) = 1.363 (\text{Log Si} + 1.258) + 2.288$

Evaluando esta expresión para el valor de S en el pozo TS-106 se obtiene que la T_{BOMBEO} esperada es de 4863 m²/día. Este valor es muy próximo al valor de T obtenido por bombeo en el pozo 1502 que resultó ser de 4953 m²/día; o sea el error del pronóstico es de un 2%.

Repitiendo esta operación para el pozo TS-110 se estima una T_{BOMBEO} de 3924 m²/día que resultó también una buena estimación teniendo en cuenta que la transmisividad obtenida por el bombeo en el pozo 688 es de 4606 m²/día. En este caso el error es de 14%.

c) Considerando los pozos (1502 y TS-106) y (688 y TS-110) para calcular la relación de Uvarov, se obtiene:

$$\text{Log } T_{\text{BOMBEO}} = 1.352 (\text{Log Si} + 1.215) + 2.361$$

Aplicando el mismo procedimiento se comprueba que esta expresión es mas precisa para estimar la transmisividad. Para el pozo 1502 se estima una T_{BOMBEO} de 4902 m²/día, lo que representa un 0.8% de error, y para el pozo 688 se estima una T_{BOMBEO} de 3994 m²/día para un 13% de error.

CONCLUSIONES

El procesamiento estadístico aplicado a la información geofísica e hidrogeológica permitió definir un modelo hidrogeofísico que esclarece la relación entre los parámetros geofísicos de pozo y los parámetros hidrodinámicos. Las características fundamentales de este modelo hidrogeofísico son las siguientes:

1. El incremento de la actividad gamma natural de las rocas refleja un incremento de la arcillosidad y una disminución de la permeabilidad del acuífero,
2. La porosidad calculada a partir de la Ecuación de Archie, por si sola no es un parámetro suficientemente expresivo para explicar las variaciones de los parámetros hidrodinámicos,
3. El parámetro de arcillosidad relativa define en gran

medida el comportamiento de la velocidad del flujo del agua subterránea. Un incremento de este parámetro hace disminuir la permeabilidad del acuífero.

4. La conductancia longitudinal es el parámetro geoelectrico mas eficiente para explicar las variaciones de los parámetros hidrodinámicos.

5. El incremento de la conductancia longitudinal está asociada a un incremento de la transmisividad de los colectores.

6 La conductancia longitudinal calculada a partir del registro eléctrico correlaciona con la transmisividad obtenida por pruebas de bombeo, según un modelo de regresión logarítmico lineal positivo.

Por primera vez en Cuba, se analiza de forma cuantitativa la relación que existe entre parámetros geofísicos de pozo y parámetros hidrodinámicos. Por primera vez se aplican las relaciones de Uvarov para abordar un problema de esta naturaleza y se comprueba la eficiencia de esta metodología de procesamiento.

A pesar de las limitaciones prácticas que imponen el insuficiente muestreo y el reducido complejo de métodos geofísicos de pozo en la Cuenca Sur de La Habana, el procesamiento estadístico aplicado permitió separar la componente estructural de las variables hidrogeológicas estudiadas y establecer los nexos más generales entre las variables geofísicas e hidrodinámicas, sintetizando la información de los registros geofísicos de pozo en un lenguaje hidrogeofísico superior.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alfonso, J. (1989): Estadística en las Ciencias Geológicas. Tomo II. ENPES, pp.239-206. Editorial ISPJAE, La Habana-Cuba.

Brown, E. Charles. (1988): Determination of rock properties by borehole-geophysical and physical testing techniques and ground water quality and movement in the Durham Triassic Basin, North

Carolina. 29pp. U.S.Geological Survey Professional Paper 1432. Washington.

García, C. (1996): Técnicas y metodología para la interpretación de registros geofísicos de pozo en yacimientos de origen vulcanógeno-sedimentario. 110pp. Tesis de Doctorado. ISCTN. La Habana-Cuba.

Gómez Rivero O. (1979): A semiquantitative technique for predicting producibility limits of reservoirs by well log analysis. 10pp. SPWLA, 20 Annual Logging symposium, June 3-6.

Jones, P.H. & T.B. Bufford. (1951): Electric logging applied to ground-water exploration. *Geophysics* **16**(1):115-139.

Katsube, T. & P. Humet. (1987): Permeability determination in crystalline rocks by standard geophysical logs. *Geophysics* **32**(3):342-352.

Keys, W.S. & L. MacCary. (1971): Application of borehole geophysics to water-resources investigations. In *Techniques of Water-Resources Investigations of the USGS*. 126pp.

Mazac, O.; W.E. Kelly & I. Landa.(1985): A hidrogeophysical model for relations between electrical and hydraulic properties of aquifers. *Journal of Hydrology* **79**:1-19.

Sacasas León, C. (1987): Métodos geofísicos aplicados a estudios ingeniero-geológicos e hidrogeológicos. Conferencias de Post-Grado (inérito). Dpto Física ISPJAE. La Habana-Cuba.72-74pp.

Samper, F.J. & J. Carrera. (1990): Geoestadística. Aplicaciones a la Hidrología Subterránea. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 17-64.

Valcarce, R.M. 1995: Métodos Geofísicos en Pozos para el Estudio de Acuíferos Cársticos. Tesis de Maestría. 74. ISPJAE, La Habana-Cuba.